

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 04-218764

(43)Date of publication of application : 10.08.1992

(51)Int.Cl. G01N 27/82
G01R 33/035
G01R 33/14

(21)Application number : 02-239061

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 11.09.1990

(72)Inventor : OTAKA MASAHIRO
TAKAKU KAZUO
SUTEEBUN EBANSON
HASEGAWA KUNIO

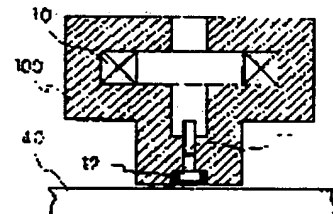
(54) DETECTING DEVICE OF DETERIORATION AND DAMAGE OF METAL MATERIAL

(57)Abstract:

PURPOSE: To enable precise and nondestructive detection of the degree of deterioration and the degree of damage of a material to be inspected, by impressing a minute alternating-current magnetic field on the material locally while impressing thereon a direct-current magnetic field widely and uniformly, and by detecting a change in the magnetic flux density of the material.

CONSTITUTION: A direct-current magnet 10, a magnetic sensor 11 and a small-sized alternating-current magnet 12 are arranged from above and put in one body by a sensor holder 100 formed of a nonmagnetic insulative material. A minute alternating-current magnetic field is impressed for excitation on a material 40 pipe to be inspected, by the magnet 12 disposed near the material 40, while a base magnetic field is impressed on the material by the magnet 10.

The magnet 12 is driven by a low frequency of several hertz or below on the occasion so as to prevent generation of an eddy current. Then, a minute change in magnetism accompanying deterioration and damage of the material 40 to be inspected is detected by the magnetic sensor 11 and the degree of deterioration and the degree of damage of the material 40 are determined from data on the change.



BEST AVAILABLE COPY

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

⑫ 公開特許公報(A) 平4-218764

⑮ Int. Cl.⁵G 01 N 27/82
G 01 R 33/035
33/14

識別記号

Z A A

庁内整理番号

9118-2 J
8203-2 G
8203-2 G

⑯ 公開 平成4年(1992)8月10日

審査請求 未請求 請求項の数 10 (全11頁)

⑰ 発明の名称 金属材料の劣化損傷検出装置

⑱ 特 願 平2-239061

⑲ 出 願 平2(1990)9月11日

⑳ 発 明 者 大 高 正 廣 茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日立製作所機械研究所内

㉑ 発 明 者 高 久 和 夫 茨城県日立市幸町3丁目1番1号 株式会社日立製作所日立工場内

㉒ 発 明 者 ステーブン エバンソン 茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日立製作所機械研究所内

㉓ 発 明 者 長 谷 川 邦 夫 茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日立製作所機械研究所内

㉔ 出 願 人 株式会社日立製作所 東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地

㉕ 代 理 人 弁理士 秋本 正実

明 細 書

1. 発明の名称

金属材料の劣化損傷検出装置

2. 特許請求の範囲

1. 測定体に励磁コイル等により磁界を印加し、それによって測定体に生じる磁気変化から測定体の劣化および損傷を検出する金属材料の劣化損傷検出装置において、測定体に直流磁界を印加する直流マグネットと、測定体に微小な交流磁界を印加する交流マグネットと、測定体の磁気変化を検出する磁気センサと、その測定体の磁気変化の測定データから劣化度および損傷度を判定する演算処理装置とを備えたことを特徴とする金属材料の劣化損傷検出装置。
2. 直流マグネットと交流マグネットを磁気センサ等を一体として、測定体上を走査できる走査装置を設けたことを特徴とする請求項1記載の金属材料の劣化損傷検出装置。
3. 測定体表面上に小型の交流マグネットと磁気センサを配置し、その上部に直流マグネットを

配置したことを特徴とする請求項1または請求項2記載の金属材料の劣化損傷検出装置。

4. 直流マグネットに馬蹄形ヨークを備え、測定体の漏れ磁界を検出するように磁気センサを配置したことを特徴とする請求項2記載の金属材料の劣化損傷検出装置。
5. 直流マグネットの励磁電源に微小交流成分を付加して直流・交流マグネットとしたことを特徴とする請求項1または請求項2記載の金属材料の劣化損傷検出装置。
6. 直流マグネットに超電導体マグネットを備え、磁気センサにS Q U I Dセンサを備えたことを特徴とする請求項1または請求項2記載の金属材料の劣化損傷検出装置。
7. 交流マグネットを銅等の常電導材料で構成し、クライオスタット外部の室温環境で動作させることを特徴とする請求項6記載の金属材料の劣化損傷検出装置。
8. 直流マグネットと交流マグネットによって形成される磁界において磁束密度Bが $\frac{\partial B}{\partial x} = 0$

となる位置 x に差動型の磁気センサを配置し、励磁コイルの成分をキャンセルして測定体の磁気変化のみを検出できるようにしたことを特徴とする請求項1から請求項7のいずれか1項に記載の金属材料の劣化損傷検出装置。

9. 交流マグネットの電源にパルス出力の可能な電源を用いることを特徴とする請求項1から請求項8のいずれか1項に記載の金属材料の劣化損傷検出装置。

10. 直流マグネットの直流磁界をステップ状または連続的に変えながら、交流マグネットの微小な交流磁界での測定体の磁気特性を磁気センサで測定し、その測定値と予め求めておいたデータベースの値との比較から演算処理装置で測定体の劣化度および損傷度を判定することを特徴とする請求項1から請求項9のいずれか1項に記載の金属材料の劣化損傷検出装置。

3. 発明の詳細な説明

〔産業上の利用分野〕

本発明は金属材料の劣化および損傷を検出する

である。しかし475℃脆性が400℃以下の温度範囲においても長時間使用中に生じる可能性があるため、含フェライト系ステンレス鋼の実機部材の高温での使用にはさらに十分の配慮が必要であるが、上記従来技術は500℃以下の脆化およびひずみがある場合のひずみ時効についての配慮がされておらず、475℃脆性の程度を検出できない問題があった。

上記従来技術はまた実機溶接部の初期フェライト量が溶接位置で異なるうえばらつきも大きく、さらに実機では溶接箇所が膨大であるため、全部の溶接部および機器材料の初期のフェライト量を全て監視することが困難であり、したがって上記従来技術は初期フェライト量が不明な箇所には適用できないため、実機で実用化できないという問題があった。

本発明は高温環境下で使用する含フェライト系ステンレス鋼および低合金鋼等の金属材料の実機部材の脆化およびひずみ損傷の程度を非破壊的にかつ精度よく検出できる金属材料の劣化損傷検出

装置に係り、特に原子力プラントおよび化学プラントの高温環境下で使用される含フェライト系ステンレス鋼および低合金鋼等の金属材料の実機部材における高温時効脆化およびひずみ損傷等を検知するに好適な金属材料の劣化損傷検出装置に関する。

〔従来技術〕

従来の金属材料の脆化検出方法の一例としては、特開昭54-61981号公報に記載のような方法がある。この方法ではオーステナイト系ステンレス溶接金属の脆化の有無を初期の δ フェライト量が5%以上減少したことで判定するとしている。

〔発明が解決しようとする課題〕

上記従来技術は高温で使用される金属材料のうちで特に含フェライト系ステンレス鋼を例にとれば高温長時間の使用により時効脆化を起こすことが既に知られており、これはおよそ600℃以上の比較的高温においては σ 相の析出に起因する σ 脆化が生じ、また400℃から500℃の範囲ではいわゆる475℃脆性が生じることによるもの

装置を提供することを目的とする。

〔課題を解決するための手段〕

上記目的を達成するために、本発明の金属材料の劣化損傷検出装置は測定材料の磁気特性を示す磁気ヒステリシスループの微小領域の変化を測定し、 $\Delta B / \Delta H$ 量から測定材料の熱時効劣化やひずみ損傷等を検出し、こうした測定材料の磁気特性から材料の劣化および損傷の程度を判定しようとするものであり、この測定材料の磁気特性を示す磁気ヒステリシスループの $\Delta B / \Delta H$ を測定するために測定材料に直流磁界を印加する直流マグネットと微小交流磁界を印加する小型交流マグネットと磁気を測定する差分型等の磁気センサとを組み合わせたセンサ部を備え、さらにセンサ部の測定データから材料の劣化度および損傷度を判定するために演算処理装置を備えたものである。

また実プラントの機器材料の検査のためにはセンサ部を機器上で走査するために走査装置を含めたシステムにしたものである。

上記センサ部としては被検体に直流磁界を広範

冊で均一に印加し、微小交流磁界を局部的に印加するために、被検体側から小型交流マグネットと磁気センサと直流マグネットの順に配置したものである。

また被検体への励磁を効率よく行なうためと横方向励磁を行うために、馬蹄形ヨークを用いたセンサとしたものである。

またセンサ構造を簡略化するために、直流マグネットの励磁電流に直流成分に加えて微小交流成分を付加したものとし、小型交流マグネットを除去したものである。

また微小交流磁界だけを高感度に検出するために、磁気センサを差動型にしたものである。

また非接触で高感度測定するために磁気センサにSQUID（超電導量子干渉素子）センサを用い、直流マグネットに超電導マグネットを用いたものである。

上記演算処理装置としては被検材の劣化度および損傷度を推定するために、磁気ヒステリシスループの $\Delta B / \Delta H$ や $\Delta B - \Delta H$ カーブのパラメー

材料を時効させた場合も同様にひずみ時効の程度に対応した $\Delta B - \Delta H$ の磁気特性の変化が得られた。

すなわち、このような現象を利用すれば、含フェライト系ステンレス鋼および低合金鋼等の金属材料の時効脆化および加工ひずみの進行程度を精度よく検知することができる。

そこで本装置では、直流マグネットは第13図に示すようにベース磁界 H_i を被検材に印加する。また小型交流マグネットは被検材に微小交流磁界 ΔH_i を印加するものである。このときの微小交流磁界 ΔH_i による被検材の磁束密度変化 ΔB_i を磁気センサで検出する。それによって劣化損傷材の $\Delta B - \Delta H$ の微小磁気ヒステリシス特性が測定できる。演算処理装置は測定した磁気特性のデータから被検材の劣化度および損傷度を予め用意したデータベースと比較して推定できる。それらによって被検材の劣化度および損傷度が検出が可能となる。

また走査装置は検査対象機器材上でセンサ部を

タを統計的に処理するものである。

〔作用〕

上記金属材料の劣化損傷検出装置の動作原理および作用を第13図の金属材料のB-Hカーブを用いて説明する。金属材料は高温環境中で長時間使用すると、内部組織に変化を生じて強度が低下する。このとき内部組織の変化に伴い電気抵抗率 ρ や透磁率 μ などの電磁気的特性も変化することが知られている。

しかし実プラントでは運転温度が比較的低いため、熱時効による脆化度が小さく、電磁気的特性の変化も小さい。そこで発明者らは第13図に示すように微小磁気ヒステリシス量の $\Delta B_i - \Delta H_i$ 特性を測定した結果、特に材料の時効脆化と直流磁界 H_i のときの $\Delta B_i - \Delta H_i$ 特性とがよく対応することを見出した。

また含フェライト系ステンレス鋼や低合金鋼等の金属材料に加工による塑性ひずみを加えると、その塑性ひずみ量に依存して材料の $\Delta B - \Delta H$ の磁気特性が変化する。さらに予めひずみを与えた

走査するもので、それによって実プラントでの測定および検査が可能である。

上記センサ部に馬蹄形ヨークを用いることにより、横磁界および効率よい磁界の励磁ができる。また直流マグネットに印加する励磁電流に直流成分と微小交流成分を重畳することでも同様の作用が得られる。

またセンサ部にSQUID（超電導量子干渉素子）センサと超電導マグネットと小型交流常電導マグネットを組み合わせても、同様の作用が非接触で得られる。また磁気センサを差動型にすることにより、直流成分をキャンセルして微小交流成分のみを高感度で測定できる。

〔実施例〕

以下に本発明の実施例を第1図から第21図により説明する。

第1図は本発明による金属材料の劣化損傷検出装置の一実施例を示す全体システム構成斜視図である。第1図において、被検体（パイプ）40は原子力プラント等に用いられている配管等の被検

体であり、被検体（パイプ）４０の溶接部４１の劣化損傷状態を検出する。このため直流マグネット１０と磁気センサ１１と小型交流マグネット１２から構成されるセンサ部７０が溶接部４１の上に配置される。センサ部７０はセンサ用バー５３を介して走査装置５０に取り付けられており、センサ用バー５３の伸縮によりセンサ部７０はパイプ４０の軸方向へ走査が可能である。またパイプ４０にはスタンド５２によりレール５１が固定されており、走査装置５０はレール５１上を移動することができる。すなわちセンサ部７０は走査装置５０によりパイプ４０の軸方向と周方向の走査が可能である。走査装置５０は走査制御装置６０で位置制御される。センサ部７０の直流マグネット１０、磁気センサ１１、小型交流マグネット１２はそれぞれ直流電源２０、センサコントローラ２１、交流電源２２に接続される。直流電源２０とセンサコントローラ２１と交流電源２２はコンピュータ３０に接続され、測定結果はコンピュータ３０のディスプレイ３１および出力装置３２に

体４０の磁気異方性を検出するためのセンサ部７０の実施例を示す。馬蹄形のヨーク１３に直流マグネット１０を巻きつけ、さらに小型交流マグネット１２を巻きつけてある。磁気センサ１１ａはヨーク１３の中央で被検体（パイプ）４０の漏れ磁界を測定する。また磁気センサ１１ｂはヨーク１３の一方の端に配置して被検体４０の直接の磁界を測定する。ヨーク１３と直流マグネット１０と小型交流マグネット１２と磁気センサ１１ａ、１１ｂはセンサホルダー１００で一体化されている。

第４図は第１図のセンサ部７０の第３の実施例を示す詳細断面図である。第４図において、直流マグネット１０と磁気センサ１１からなり、直流マグネット１０の直流電源２０に交流電源２２の微小交流成分が付加できる機能をもたせた励磁電源２０'を接続したセンサ部７０の実施例を示す。この実施例により小型交流マグネット１２が除去できる。直流マグネット１０と磁気センサ１１はセンサホルダー１００で一体化されている。

表示される。

第１図のセンサ部７０の実施例の詳細を第２図から第１０図により次に説明する。

第２図は第１図のセンサ部７０の第１の実施例を示す詳細断面図である。第２図において、同軸型センサ部７０の実施例を示す。被検体４０の表面近傍に小型交流マグネット１２を配置して被検体４０を励磁する。このとき被検体４０に渦電流が発生しないように、数Hz以下の低周波数で小型交流マグネット１２を駆動する。被検体（パイプ）４０の劣化損傷に伴う微小磁気変化は小型交流マグネット１２の上部に配置した磁気センサ１１で検出する。被検体４０にベース磁界を印加する直流マグネット１０は磁気センサ１１のさらに上部にある。直流マグネット１０と磁気センサ１１と小型交流マグネット１２は非磁性・絶縁材料からなるセンサホルダー１００で一体化されている。

第３図は第１図のセンサ部７０の第２の実施例を示す詳細断面図である。第３図において、被検

第５図（ａ）、（ｂ）は第２図から第４図の磁気センサ１１、１１ａ、１１ｂの一実施例を示す詳細配置図および出力波形図である。第５図（ａ）、（ｂ）において、第５図（ａ）の磁気センサ１１Ａ、１１ＢをＺ軸方向に距離ΔＺだけ離して配置した差動型磁気センサ１１の実施例を示す。直流マグネット１０の直流磁界を印加した状態で小型交流マグネット１２の微小な交流磁界を検出する場合に、ベース磁界（直流磁界）で磁気センサ１１の出力が大きくなって微小交流出力が得にくくなるから、そこで２つの磁気センサ１１Ａ、１１Ｂを逆方向に接続してその差分量で交流成分だけを検出することにより、第５図（ｂ）の磁気センサ１１の交流出力波形が得られる。

第６図（ａ）、（ｂ）は第２図から第４図の磁気センサ１１、１１ａ、１１ｂの他の実施例を示す詳細配置図および出力波形図である。第６図（ａ）、（ｂ）において、第６図（ａ）の２つの磁気センサ１１Ａ、１１Ｂを用いて一方の磁気センサ１１Ａで直流磁界および小型交流マグネット１２の交

流磁界を測定する。そして第6図(b)の2つの磁気センサ11b, 11Aの出力波形B, Aの差から交流成分を検出する。

第7図は第1図のセンサ部70の第4の実施例を示す詳細断面図である。第7図において、SQUIDセンサシステムおよび超電導マグネットを用いたセンサ部70の実施例を示す。第7図のクライオスタット113の内部には液体ヘリウムが充填されており、4.2 Kに冷却されている。このクライオスタット113の中にSQUID110とピックアップコイル111と超電導マグネット101が納められる。磁界を検出するピックアップコイル111はSQUID110に接続されており、SQUID110で磁気量が電気信号に変換され、 $2.07 \times 10^{-15} \text{ Wb}$ の高感度で検出できる。SQUID110の出力はアンプ115で増幅され、SQUIDコントローラ116で処理される。ピックアップコイル111とSQUID110との間にヒートスイッチ112が設けてあり、超電導マグネット101の磁界変更時にはヒートスイッチ112をOFFにしてSQUID

生じる磁界について磁束密度Bの変化 $\frac{\partial B}{\partial x} = 0$ の位置xにピックアップコイル111を配置するものである。

第9図は第1図のセンサ部70の第6の実施例を示す詳細断面図である。第8図において、第7図または第8図のSQUIDセンサを用いたセンサ部70について、交流磁界を印加するのに容易な常電導交流マグネット12を超電導マグネット101の外側に配置した実施例を示す。

第10図は第1図のセンサ部70の第7の実施例を示す詳細断面図である。第10図において、第7図または第8図のSQUIDセンサを用いたセンサ部70において、第9図の実施例とは逆に常電導交流マグネット12を超電導マグネット101の内側に配置した実施例を示す。

第7図から第10図のSQUIDセンサシステムおよび超電導マグネットを用いたセンサ部70の実施例について、最近に液体窒素温度で動作する高温超電導材料が開発されており、この高温超電導材料を応用した高温SQUIDが実現できれ

110に入る磁界をカットし、SQUID110を保護する。クライオスタット113の下部には交流磁界を印加するための小型常電導マグネット12が配置される。超電導マグネット101で安定した直流磁界を被検体40に印加し、小型交流マグネット12による交流磁界をSQUIDセンサで高感度に検出する。なおクライオスタット113内の上部には液体ヘリウム蒸発を防ぐための熱しゃへい板114がある。

第8図は第1図のセンサ部70の第5の実施例を示す詳細断面図である。第8図において、第7図のSQUIDセンサを用いたセンサ部70について超電導マグネット101と交流マグネット12と磁気検出のピックアップコイル111の配置を限定した実施例を示す。第8図のピックアップコイル111は通常に微分型コイルを用いる。これは外部磁界ノイズや励磁時のマグネット磁界をキャンセルするためである。従って被検体40の材料による磁界変化だけを検出するために、超電導マグネット101および交流マグネット12で

ば、第7図から第10図と同様のセンサ部70を実現することが可能となり、この場合には冷却に液体窒素が使用できるためSQUIDセンサの小型化が図れる。

第11図(a), (b)は第1図および第7図から第10図の直流電源20および交流電源22の出力波形の一実施例を示す説明図である。第11図(a), (b)において、第11図(a)の直流電源20の直流出力波形は一定出力を出力する波形Aの場合と、第11図(b)の交流電源22の交流出力波形の周期に比べてはるかに長い周期で変化する波形Bの場合を設定する。波形Aの場合は直流出力をステップ状に変化させて交流出力で微小ヒステリシスを測定し、波形Bの場合はこれを連続的に行なうものである。

第12図(a), (b)は第1図および第7図から第10図の直流電源20および交流電源22の出力波形の他の実施例を示す説明図である。第12図(a), (b)において、第12図(a)の直流電源20の直流出力波形は第11図の実施例と同

様であるが、第12図(b)の交流電源22の交流出力波形をパルス状の波形に設定する。このように交流出力をパルス状にすることにより、急変する磁気特性(磁区)の変化から被検体40の材料の損傷を検出しようとするもので、この交流マグネット12と直流マグネット10、101の併用を行うものである。これによりバルクハウゼンノイズなどの磁区の微小な変化にも検出できる。

つぎに第1図から第12図の実施例の被検体40の溶接部41などの磁気測定および劣化損傷判定方法と動作を第13図から第21図により説明する。

第13図は第1図の被検体40の金属材料の磁気ヒステリシスループのB-Hカーブを示す説明図である。第13図においてB-Hカーブの①'→②'→③'の過程で励磁した後、直流磁界 H_1 で交流磁界 ΔH_1 を印加する。これにより磁束密度Bは ΔB_1 だけ変化し、その時の $\Delta B_1 - \Delta H_1$ カーブは図示のようになる。つぎに直流磁界 H_2 に変えて同様に測定する。これを①の飽和磁界まで

成分Hとの関係を例示する測定結果の説明図である。第16図において、被検体40の材料のひずみ損傷度で $\Delta B / \Delta H - H$ の変化パターンが矢印で示すように異なったパターンとなるため、この測定データをデータベースのマスターカーブとして使用できる。

第17図は第1図の被検体40の金属材料の直流磁界Hをパラメータとして時効時間(aging time)とSQUID出力($\Delta B / \Delta H \approx \Delta \mu$)の関係を例示するSQUIDセンサおよび超電導マグネットを用いたセンサ部70による測定結果の説明図である。第17図において、SQUID110の出力($\Delta B / \Delta H \approx \Delta \mu$)は時効時間の増加に伴って減少する。また直流磁界 H_i が大きいくほど、SQUID110の出力($\Delta B / \Delta H \approx \Delta \mu$)は小である。

第18図は第17図の直流磁界 $H=0$ のときの時効時間に伴う $\Delta B / \Delta H$ カーブの変化を例示する測定結果の説明図である。第18図において、直流磁界 $H=0$ のときのSQUID出力の $\Delta B /$

行い、さらに②→③と直流磁界を変化させ交流磁界を印加して $\Delta B - \Delta H$ カーブを測定する。

第14図は第13図のB-Hカーブの微小励磁領域での $\Delta B - \Delta H$ カーブを示す説明図である。第14図において、第13図に示した測定方法により得られる $\Delta B - \Delta H$ カーブを示し、直流磁界 H_i ($i=1, 2, 3, \dots$)に依存して $\Delta B - \Delta H$ カーブが図示のように変化する。この $\Delta B - \Delta H$ カーブのパターンが被検体40の材料の時効劣化やひずみ損傷の程度により変化するものである。

第15図は第1図の被検体40の金属材料の処女材および時効材の $\Delta B / \Delta H$ と直流磁界成分Hとの関係を例示する測定結果の説明図である。第15図において、被検体40の材料の時効劣化度で $\Delta B / \Delta H - H$ の変化パターンが矢印で示すように異なったパターンとなるため、この測定データをデータベースのマスターカーブとして使用できる。

第16図は第1図の被検体40の金属材料の処女材およびひずみ損傷材の $\Delta B / \Delta H$ と直流磁界

ΔH カーブは時効時間 $t=0 < t_1 < t_2$ の増加に伴って図示のように変化する。

第19図は第1図の被検体40の金属材料の直流磁界Hをパラメータとしてひずみ損傷の負荷ひずみ量 $\epsilon_p\%$ とSQUID出力($\Delta B / \Delta H \approx \Delta \mu$)の関係を例示するSQUIDセンサおよび超電導マグネットを用いたセンサ部70による測定結果の説明図である。第19図において、SQUID110の出力($\Delta B / \Delta H \approx \Delta \mu$)は負荷ひずみ量 $\epsilon_p\%$ の増加に伴い増加したのち減少する。また直流磁界 H_i が大きいくほど、SQUID110の出力($\Delta B / \Delta H \approx \Delta \mu$)は小である。

第20図は第19図の直流磁界 $H=0$ のときの負荷ひずみ量 ϵ_p による $\Delta B - \Delta H$ カーブの変化を例示する測定結果の説明図である。第20図において、直流磁界 $H=0$ のときのSQUID出力の $\Delta B - \Delta H$ カーブは負荷ひずみ量 $\epsilon_0=0 < \epsilon_1 < \epsilon_2$ の増加に伴って図示のように変化する。

第17図から第20図の測定データをデータベースのマスターカーブや比較基準の $\Delta B - \Delta H$ カ

ープとして使用すれば、被検体40の実際の測定データの比較演算により被検体40の金属材料の時効劣化度およびひずみ損傷度が判定できる。

第21図は第1図から第12図の実施例の被検体40の溶接部41の磁気測定および劣化損傷判定の動作手順を例示するフローチャートである。第21図において、第1図に示すような装置を被検体(パイプ)40にセットした後、ステップ1で溶接部41の検査領域をまず第13図のB-Hカーブの飽和磁界まで励磁して磁気履歴を除去する。つぎにステップ2で測定する直流磁界 H_i まで直流マグネット10、101の磁界を減少させる。ついでステップ3で交流マグネット12による第13図の $\Delta B - \Delta H$ カーブをセンサ部70の磁気センサ11、110で測定する。このステップ2、3の過程を逆の飽和磁気に至るまで繰返す。つぎにステップ4で逆方向の飽和磁界と判定した場合に、ステップ5に移行して直流磁界 H_i ($i = 1, 2, 3, \dots$)での $\Delta B - \Delta H$ カーブの測定データをメモリに保管する。ついでステッ

プ6でセンサ部70を移動して、ステップ1から再度測定する。ステップ6ですべての測定位置での検査が終了した後、ステップ7に移行して第15図から第20図のデータベースによる劣化損傷判定を行う。ついでステップ8で劣化損傷判定結果を出力装置32に表示する。

本実施例によれば、直流磁界に伴う微小交流磁界での $\Delta B - \Delta H$ カーブの変化を測定することにより、金属材料の劣化度および損傷度が検出できる。また変化させる交流磁界が小さい場合にも差動磁気センサの使用により高精度の測定ができる。特にSQUIDセンサを用いた場合には非接触で検出できる。

〔発明の効果〕

本発明によれば、高温で使用される金属材料の脆化の程度およびひずみ量を非破壊的にかつ迅速に検知できるので、機器の損傷を未然に防ぐことが可能となって実機の安全性を高めることができる効果がある。

4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明による金属材料の劣化損傷検出装置の一実施例を示す全体システム構成斜視図、第2図は第1図のセンサ部の第1の実施例を示す詳細断面図、第3図は第1図のセンサ部の第2の実施例を示す詳細断面図、第4図は第1図のセンサ部の第3の実施例を示す詳細断面図、第5図(a)、(b)は第2図から第4図の磁気センサの一実施例を示す詳細配置図および出力波形図、第6図(a)、(b)は第2図から第4図の磁気センサの他の実施例を示す詳細配置図および出力波形図、第7図は第1図のセンサ部70の第4の実施例を示す詳細断面図、第8図は第1図のセンサ部の第5の実施例を示す詳細断面図、第9図は第1図のセンサ部の第6の実施例を示す詳細断面図、第10図は第1図のセンサ部の第7の実施例を示す詳細断面図、第11図(a)、(b)は第1図および第7図から第10図の直流電源および交流電源の出力波形の一実施例を示す説明図、第12図(a)、(b)は第1図および第7図から第10図の直流電源および交流電源の出力波形の他の実施

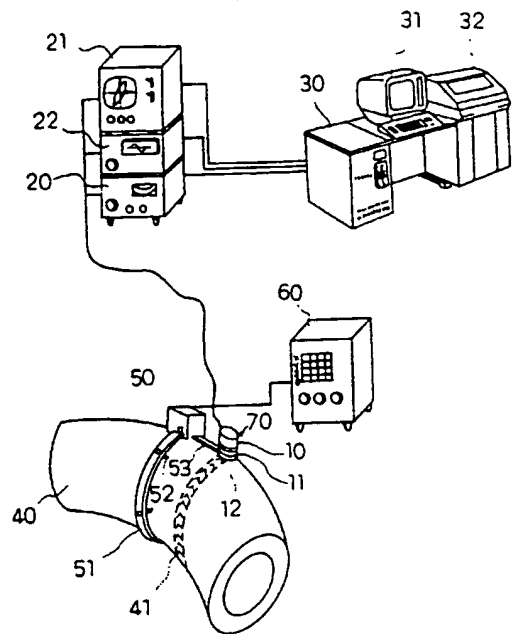
例を示す説明図、第13図は第1図の被検体の金属材料のB-Hカーブを示す説明図、第14図は第13図の $\Delta B - \Delta H$ カーブを示す説明図、第15図は第1図の被検体の金属材料の処女材および時効材の $\Delta B / \Delta H$ とHとの関係を例示する測定結果の説明図、第16図は第1図の被検体の金属材料の処女材およびひずみ損傷材の $\Delta B / \Delta H$ とHとの関係を例示する測定結果の説明図、第17図は第1図の被検体の金属材料のHをパラメータとして時効時間とSQUID出力の関係を例示する測定結果の説明図、第18図は第17図の $H = 0$ のときの時効時間に伴う $\Delta B - \Delta H$ カーブの変化を例示する測定結果の説明図、第19図は第1図の被検体の金属材料のHをパラメータとしてひずみ量とSQUID出力の関係を例示する測定結果の説明図、第20図は第19図の $H = 0$ のときのひずみ量 ϵ_p による $\Delta B - \Delta H$ カーブの変化を例示する測定結果の説明図、第21図は第1図から第12図の実施例の被検体の磁気測定および劣化損傷判定の動作手順を例示するフローチャート

である。

10…直流マグネット、11…磁気センサ、12…小型交流マグネット、13…ヨーク、20…直流電源、21…センサコントローラ、22…交流電源、30…コンピュータ、31…ディスプレイ、32…出力装置、40…被検材、41…溶接部、50…走査装置、51…レール、52…スタンド、53…センサ用バー、60…走査制御装置、70…センサ部、100…センサホルダ、101…超電導マグネット、110…SQUID、111…ピックアップコイル、112…ヒートスイッチ、113…クライオスタット、114…しゃへい板、115…アンプ、116…SQUIDコントローラ。

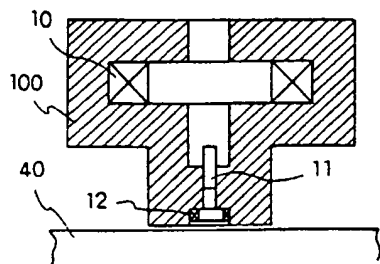
代理人 井理士 秋 本 正 実

第 1 図



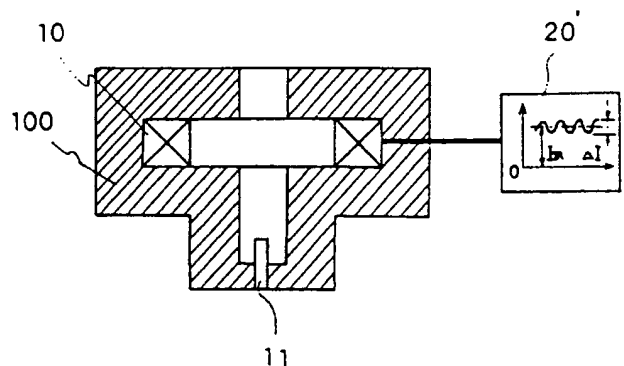
- | | | |
|---------------|------------|------------|
| 10: 直流マグネット | 30: コンピュータ | 51: レール |
| 11: 磁気センサ | 31: ディスプレイ | 52: スタンド |
| 12: 小型交流マグネット | 32: 出力装置 | 53: センサ用バー |
| 20: 直流電源 | 40: 被検体 | 60: 走査制御装置 |
| 21: センサコントローラ | 41: 溶接部 | 70: センサ部 |
| 22: 交流電源 | 50: 走査装置 | |

第 2 図



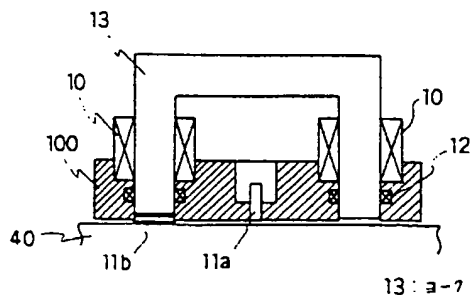
- 10: 直流マグネット
11: 磁気センサ 40: 被検材
12: 小型交流マグネット 100: センサホルダ

第 4 図

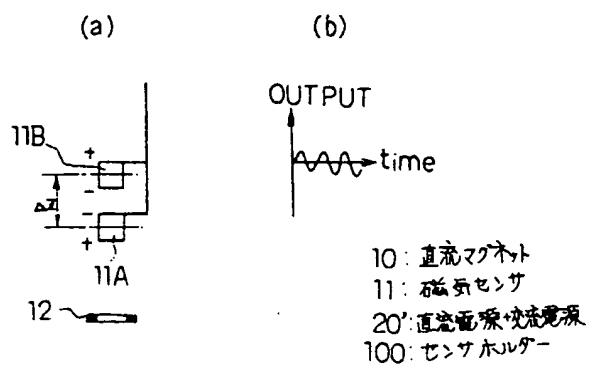


- 10: 直流マグネット
11: 磁気センサ
20: 直流電源+交流電源
100: センサホルダ

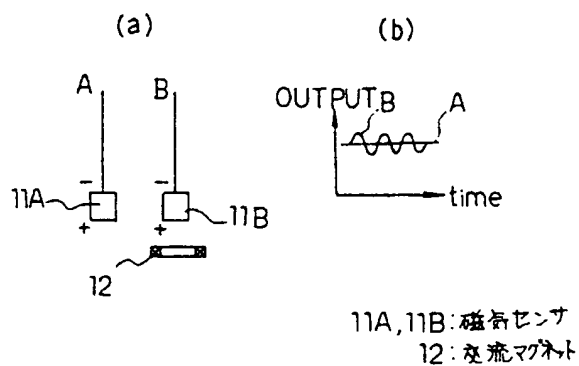
第 3 図



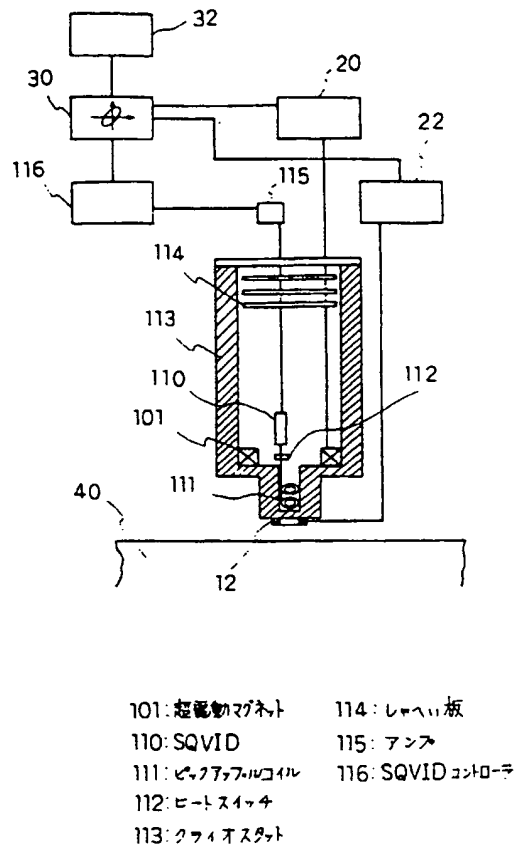
第 5 図



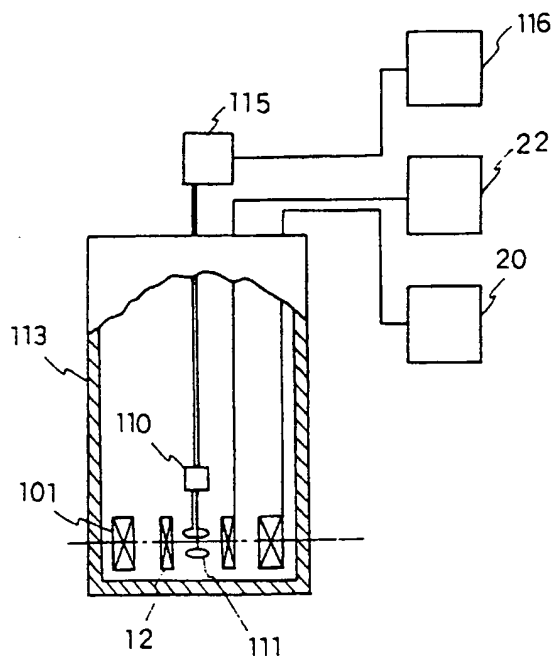
第 6 図



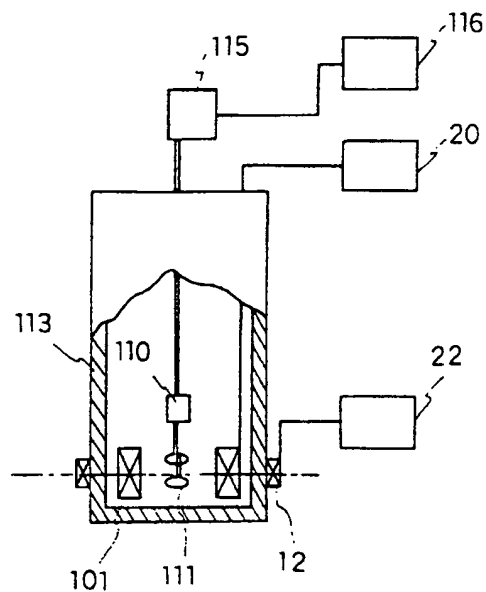
第 7 図



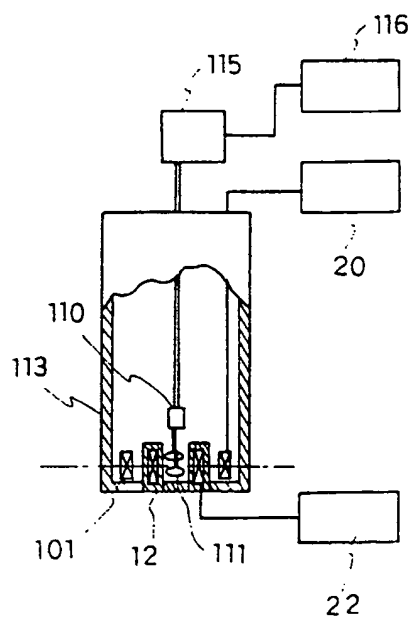
第 8 図



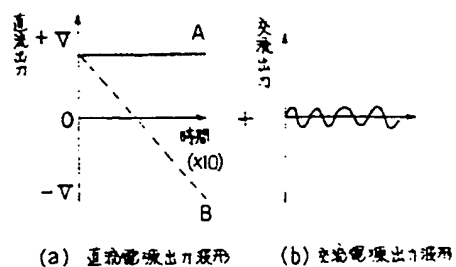
第 9 図



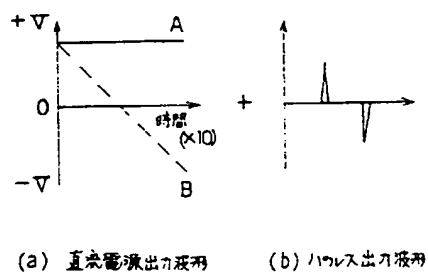
第 10 図



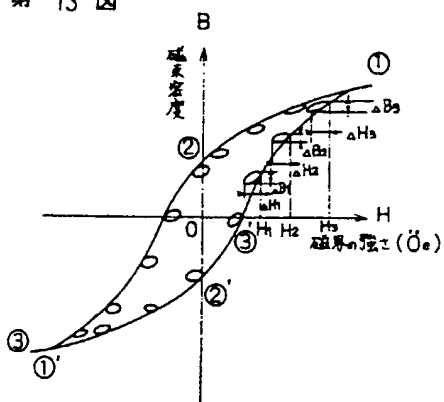
第 11 図



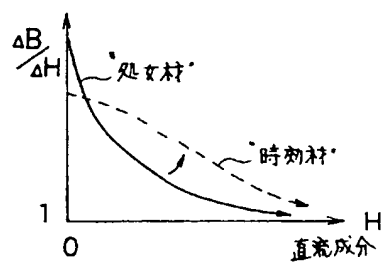
第 12 図



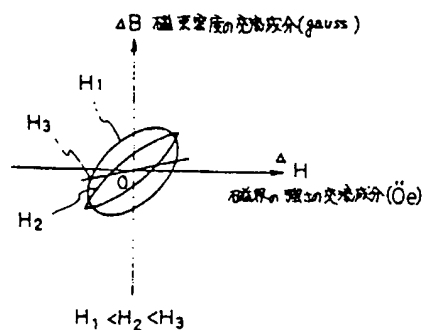
第 13 図



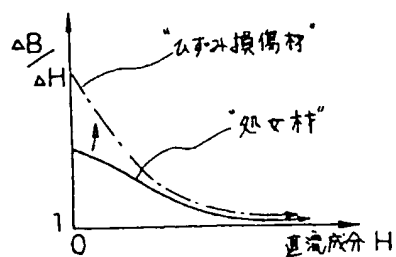
第 15 図



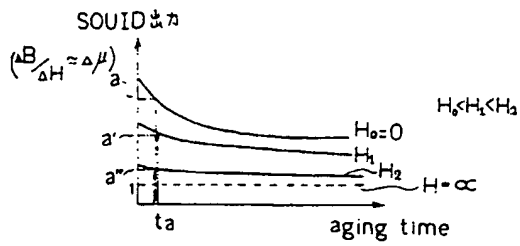
第 14 図



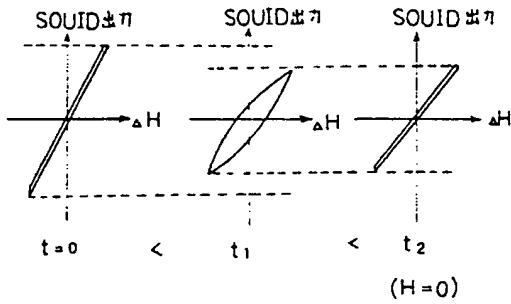
第 16 図



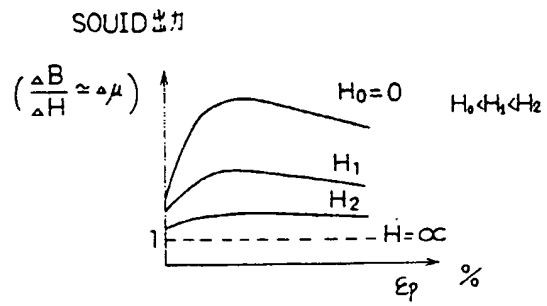
第 17 図



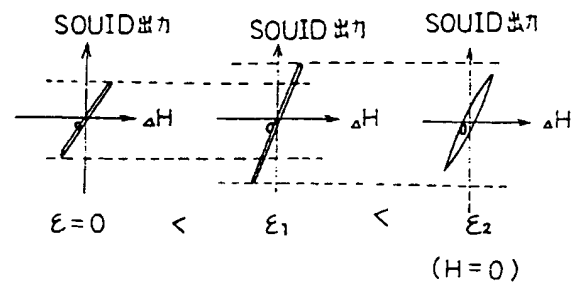
第 18 図



第 19 図



第 20 図



第 21 図

